

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-235619

(43)Date of publication of application : 23.08.1994

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

G01B 9/02

G01M 11/00

(21)Application number : 05-022635

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 10.02.1993

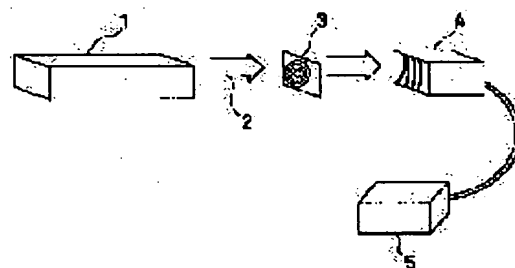
(72)Inventor : FUKUSHIMA IKUTOSHI

(54) MEASURING DEVICE FOR WAVEFRONT ABERRATION

(57)Abstract:

PURPOSE: To instantaneously measure a wavefront by converting interference fringes to coordinates by a coordinate converting hologram element and inputting an image input signal to a neural network which has finished learning with the use of known data of the kind and the amount of aberrations.

CONSTITUTION: An interferometer 1 obtains a wave surface 2 including interference fringes generated by a wave surface of a to-be-detected object and a reference wave surface. The interference fringes are converted to polar coordinates by a coordinate converting hologram 3 and detected by a CCD camera 4. The data taken into the camera 4 is divided into pixels of a predetermined size on a computer 5. Each pixel is input to a neuron of an input layer of a neural network constructed by software on the computer 5.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-235619

(43) 公開日 平成6年(1994)8月23日

| | | | | |
|---------------------------|------|-----------|-----|--------|
| (51) Int.Cl. ⁵ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
| G 0 1 B 11/24 | | D 9108-2F | | |
| 9/02 | | | | |
| G 0 1 M 11/00 | | L 9309-2G | | |

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平5-22635

(22) 出願日 平成5年(1993)2月10日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 福島郁俊

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン

パス光学工業株式会社内

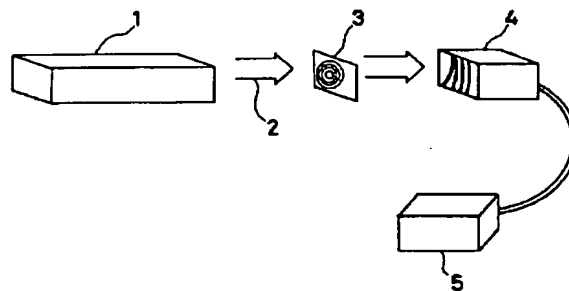
(74) 代理人 弁理士 藤澤 弘 (外7名)

(54) 【発明の名称】 波面収差測定器

(57) 【要約】

【目的】 参照波面と被検物体からの物体波面とにより生じる干渉縞から収差の種類、量を瞬時に出力できる波面収差測定器。

【構成】 参照波面と物体波面とにより生じる干渉縞2に対して座標変換を施すホログラム素子3、及び、ホログラム素子3により変換された画像を入力信号とし、その信号を受容する複数のニューロン群よりなる入力層と、前段の層のニューロン群の興奮パターンを受容してパターン変換を行った後、次の段へ興奮パターンを出力するニューロン群よりなる1層又は複数層の中間層と、最終の中間層のニューロンの興奮パターンを受容して変換して出力を出す出力層とからなるニューラルネットワーク5を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 参照波面と被検物体からの物体波面とにより生じる干渉縞に対して座標変換を施すホログラム素子、及び、前記ホログラム素子により変換された画像を入力信号とし、その信号を受容する複数のニューロン群よりなる入力層と、前段の層のニューロン群の興奮パターンを受容してパターン変換を行った後、次の段へ興奮パターンを出力するニューロン群よりなる1層又は複数層の中間層と、最終の中間層のニューロンの興奮パターンを受容して変換して出力を出す出力層とからなるニューラルネットワークを有する波面収差測定器。

【請求項2】 前記ニューラルネットワークは、収差の種類とその量が既知である干渉縞情報を複数入力して誤差逆伝播学習により各層間のニューロンの結合の大きさを決定するものであることを特徴とする請求項1記載の波面収差測定器。

$$W(\rho, \theta) = \sum_i Z_i R_i(\rho, \theta)$$

* 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、球面形状等の測定において、参照波面と被検物体からの物体波面とにより生じる干渉縞から収差の種類、量を判断する波面収差測定器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】レンズ加工、あるいは、加工されたレンズの検査等においては、被検物を干渉計内に設置し、被検物から生じた干渉縞の縞解析を行い、収差の量及び種類を求め、レンズの再加工部分を決定したり、良否を決定することがよく行われている。その縞解析の方法としては、ツェルニケ係数を用いる方法が一般的である。波面収差 $W(\rho, \theta)$ をツェルニケ多項式 $R_i(\rho, \theta)$ で表すと、以下のような式になる。

【0003】

$$\dots (1)$$

(1) 式の Z_i がツェルニケ係数である。ツェルニケ係数※ツェルニケ多項式 R_i に応じた収差量を示している。数は、次の表1に一部を示した各収差の種類に対応する※20 【0004】

表1：ツェルニケ多項式

| Z_0 | 1 | 定数項 |
|-------|----------------------------------|-----------------|
| Z_1 | $\rho \cos \theta$ | y方向の傾き |
| Z_2 | $\rho \sin \theta$ | x方向の傾き |
| Z_3 | $2\rho^2 - 1$ | 焦点のずれ |
| Z_4 | $\rho^2 \cos 2\theta$ | 0度又は90度の軸での非点収差 |
| Z_5 | $\rho^2 \sin 2\theta$ | ±45度の軸での非点収差 |
| Z_6 | $\rho \cos \theta (3\rho^2 - 2)$ | y軸方向の3次のコマ収差 |
| Z_7 | $\rho \sin \theta (3\rho^2 - 2)$ | x軸方向の3次のコマ収差 |
| Z_8 | $6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$ | 3次の球面収差 |

このようなツェルニケ多項式は、①半径1の単位円内で直交する、②単位円の円周上での値は1である、③該当する収差のRMS（平均自乗）値を最小にする収差の組み合わせである、等の特徴を持ち、これを用いる方法は、他の次数や他の収差に影響されずに、所望の収差の収差係数を求めることができる非常に優れた方法である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記の従来例のツェルニケ多項式を用いる方法においては、所望の収差の収差係数は、実際には、以下のような複雑な手順で

コンピュータを用いて計算されている。

【0006】まず、得られた干渉縞から計算量を減らし処理スピードを向上させるために、複数点をサンプリングする。サンプリングのために、直交関数として直接ツェルニケ多項式よりツェルニケ係数を求めるのは、誤差や連続性の問題点がありうまくいかないの、直交関数としてグランシュミットの直交化多項式を用いてフィッティングを行い、得られた係数をさらに変換マトリクスを用いてツェルニケ係数に変換する方法をとっており、かなりの処理時間を要する。特に、大量の被検物を検査

3

する必要がある加工品検査等では、その処理時間が致命的となる。

【0007】本発明は以上のような従来の問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、参照波面と被検物体からの物体波面とにより生じる干渉縞から収差の種類、量を瞬時に出力できる波面収差測定器を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明の波面収差測定器は、参照波面と被検物体からの物体波面とにより生じる干渉縞に対して座標変換を施すホログラム素子、及び、前記ホログラム素子により変換された画像を入力信号とし、その信号を受容する複数のニューロン群よりなる入力層と、前段の層のニューロン群の興奮パターンを受容してパターン変換を行った後、次の段へ興奮パターンを出力するニューロン群よりなる1層又は複数層の中間層と、最終の中間層のニューロンの興奮パターンを受容して変換して出力を出す出力層とからなるニューラルネットワークを有するものである。

【0009】この場合、前記ニューラルネットワークは、収差の種類とその量が既知である干渉縞情報を複数入力して誤差逆伝播学習により各層間のニューロンの結合の大きさを決定するものである。

【0010】

【作用】本発明においては、上述のような構成により、ツェルニケ多項式に展開する場合に必要な参照波面と物体波面とより生じる干渉縞の情報の座標変換を、ホログラム素子を用いて瞬時に処理することができる。

【0011】さらに、前述のニューラルネットワークは、対応するツェルニケ多項式の係数が分かっている代表的な収差を持つ干渉縞を用いて予め学習を完了させており、上述の座標変換後の情報からツェルニケ係数を求める計算方法がニューロン間の結合の大きさとしてすでに決定され、さらに、その結合の大きさにはツェルニケ係数の直交性も表現されているので、収差の種類と量を測定したい一般の干渉縞を入力すれば、瞬時にしかも正確にツェルニケ係数を求めることができる。

【0012】以上から、本発明の波面収差測定器は、コンピュータを用いた従来の手法と比較すると、大幅な処理時間の短縮が可能になることが分かる。

【0013】

【実施例】以下、本発明の波面収差測定器の実施例について、図面を参照しながら説明する。図1は一つの実施例の波面収差測定器の概略の構成を示す図であり、図中、1は被検物体を系内に配置して、その被検物体による物体波面と参照波面とにより生ずる干渉縞を含む波面2を得るための干渉計であり、本実施例の場合は、フィゾーの干渉計を用いている。3は計算機ホログラムの一種で、コンピュータを用いてホログラム素子を多くのサ

4

ブホログラムに分割し、写真乾板に記録することにより得られる座標変換ホログラム素子である(H. Bartelt and S.K. Case, "Coordinate transformations via multifacet holographic optical elements", OPTICAL ENGINEERING, vol. 22, No. 4, pp. 497-500(1983)参照)。干渉計1により得られた干渉縞は、座標変換ホログラム3で座標変換され、検出手段4、本実施例の場合はCCDカメラ、により検出される。このCCDカメラ4に取り込まれたデータは、コンピュータ5上で 20×20 の画素に分けられ、それぞれがこのコンピュータ5上においてソフトウェアにより構築されているニューラルネットワークの入力層のニューロンに入力される。

【0014】このニューラルネットワークは、図2に示すように入力層A、中間層B、出力層Cからなる階層構成で逆伝播学習則を用いるタイプのものからなり、その入力層Aでは、前述の 20×20 の画素がニューロンへの入力となるために、400個の入力ニューロンがある。中間層Bはある程度多い方がよいが、学習時間の短縮も考慮して4つとし、出力層Cのニューロンは、ツェルニケ多項式の3次の係数までに対応させるために、 $Z_0 \sim Z_8$ が決定できる9つとしてある。

【0015】このニューラルネットワークにおいては、ツェルニケ多項式の係数がすでに分かっている干渉縞をいくつか入力し、その多項式に対応する出力層Cのニューロンがその係数の値で発火するように、誤差逆伝播法を用いて学習させるが、実験的にツェルニケ係数から発生する干渉縞をシミュレーションにより求め、それを使用して学習を行わせた。学習のためのシミュレーションデータとして、ツェルニケ多項式 $Z_0 \sim Z_8$ が単独で現れ、その係数が0.2、0.5、0.8の各場合について逆伝播学習を行わせた。ここでは、 Z_0 は定数項であるために、学習対象から外した。なお、一例としてツェルニケ係数 Z_0 が0.2、0.5、0.8で他の係数は0の場合の干渉縞を、図3(a)、(b)、(c)に示す。

【0016】具体的に一例として、図4に示す Z_1 が1.0、 Z_0 が0.5の場合の干渉縞を本波面収差測定器に入力したところ、 Z_1 に約1.0、 Z_0 に約0.5の出力が得られた。

【0017】なお、本実施例では出力層Cのニューロンを $Z_0 \sim Z_8$ の9個としたが、さらに高次の(Z_9 以上)の係数を求めるには、この出力層Cのニューロンの数を増やし、学習パターンもそれに対応させて増やせばよいことは明らかである。

【0018】また、もし必要があり、ツェルニケ係数をザイデル係数になおす場合でも、次の表2に示すような簡単な計算で変換が行えるので、処理時間にはほとんど影響はないことは明らかである。

【0019】

表2: ザイデル収差とツェルニケ係数

| ザイデル収差 | | ツェルニケ係数 |
|---------|-----|---|
| ティルト | X成分 | $Z_1 - 2 Z_0$ |
| | Y成分 | $Z_2 - 2 Z_1$ |
| ディフォーカス | 大きさ | $2 Z_0 - 6 Z_1 \pm (Z_1^2 + Z_2^2)^{1/2}$ |
| 非点収差 | 大きさ | $\pm (Z_1^2 + Z_2^2)^{1/2}$ |
| | 方位 | $\arctan (Z_2 / Z_1)$ |
| コマ収差 | 大きさ | $3 (Z_1^2 + Z_2^2)^{1/2}$ |
| | 方位 | $\arctan (Z_2 / Z_1)$ |
| 球面収差 | 大きさ | $6 Z_0$ |

また、直交化等の点であり感心できる方法ではないが、極座標変換等せずに、直交座標のままニューラルネットワークを用いることにより、ツェルニケ係数やザイデル係数を求めることももちろんできる。

【0020】さらに、上記実施例では、座標変換として極座標変換を用いたが、他の極座標変換、例えば $(x, y) \rightarrow (\log(x^2 + y^2)^{1/2}, -\tan(y/x))$ なる極座標変換と対数変換を組み合わせたものでもよい。なお、この場合の極座標変換プログラムは、前述のサブプログラムを用いる方法で作ってもよいが、saddle point法 (M. Born and E. Wolf, "Principle of Optics" (Pergamon, New York, 1965), p. 753 参照) を用いて作ってもよい。

【0021】以上、本発明の波面収差測定器を実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれら実施例に限定されず、種々の変形が可能である。

【0022】

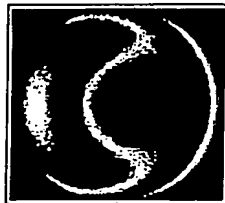
【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の波面収差測定器によると、測定で得られた干渉縞を座標変換プログラム素子で瞬時に座標変換をし、その変換された画像を入力信号として、この入力信号を収差の種類と量が既知のデータを用いて学習を完了しているニューラルネットワークに入力することで、入力する干渉縞情報に対し、これまでのように複雑な計算をその度に行わなくともよい。干渉縞中の収差の種類、量を瞬時に求めることができる。

【図面の簡単な説明】
【図1】本発明の波面収差測定器の一つの実施例の波面収差測定器の概略の構成を示す図である。
【図2】ニューラルネットワークの構成を示す図である。
【図3】ニューラルネットワークの学習に用いる干渉縞の例を示す図である。
【図4】測定対象の干渉縞の一例を示す図である。

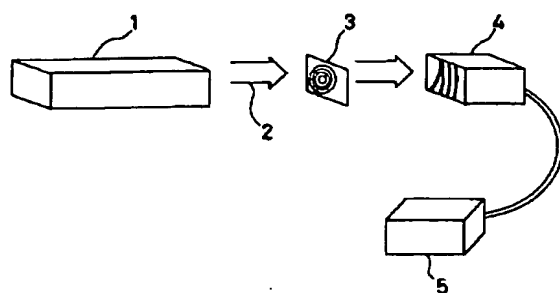
【符号の説明】

- 1…干渉計
- 3…座標変換プログラム素子
- 2…干渉縞を含む波面
- 4…検出手段
- 5…コンピュータ
- A…入力層
- B…中間層
- C…出力層

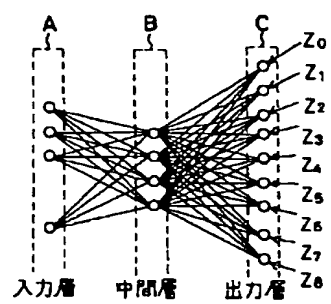
【図4】



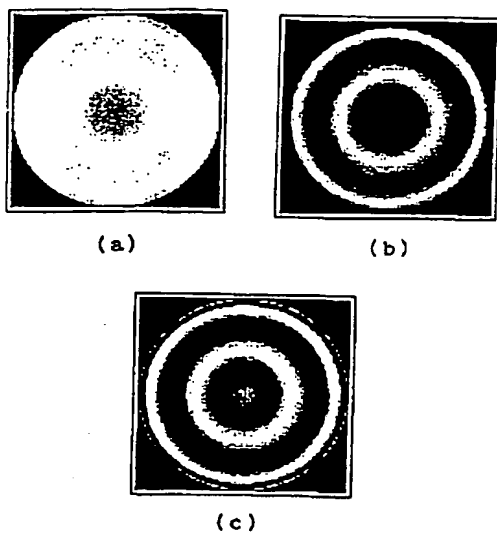
【図1】



【図2】



【図3】



BEST AVAILABLE COPY